

- увеличение емкости защитной R-C цепочки приводит к снижению перенапряжений при коммутации; однако увеличение емкости повлечет за собой и повышение суммарной емкости цепи, что повлияет на мероприятия в сети при ОЗЗ.

Литература

1. Евдокунин Г.А., Тилер Г. Современная вакуумная коммутационная техника для сетей среднего напряжения. - С.-Петербург: Издательство Сизова М.П., 2002 - 147 с.
2. Васюра Ю.Ф., Гавриков В.И., Евдокунин Г.А. Коммутационные перенапряжения на высоковольтных двигателях собственных нужд электростанций // Электротехника. - 1984. - № 12. - С. 4-7.
3. Методичні вказівки з вибору обмежувачів перенапруг нелінійних виробництва підприємства «Таврида Електрик» для електричних мереж 6 - 35 кВ, Севастополь 2003.
4. Руководство по защите электрических сетей 6-1150 кВ от грозных и внутренних перенапряжений РД 153-34.3-35.125-99, РАО «ЕЭС России», Москва 1999.

Розглянуто магнітну систему з високотемпературною надпровідниковою котушкою, математичне моделювання магнітного поля якої проведено з використанням програми FEMM.

Ключові слова: високотемпературний надпровідник, магнітна проникність, електромагніт

Рассмотрена магнитная система с высокотемпературной сверхпроводниковой катушкой, математическое моделирование магнитного поля которой проведено с использованием программы FEMM.

Ключевые слова: высокотемпературный сверхпроводник, магнитная проницаемость, электромагнит

The magnetic system with high-temperature superconducting coil is considered, which mathematical modeling of a magnetic field using program FEMM is carried out.

Keywords: high temperature superconductor, permeance, electromagnet

Якщо розглядати тенденції розвитку надпровідникового устаткування за останні роки, то можна зауважити на постійний зріст кількості розробок у цій галузі та спроб впровадження у виробництво. Високотемпературні надпровідники (ВТНП) відрізняють-

5. Евдокунин Г.А., Корепанов А.А. Перенапряжения при коммутации цепей вакуумными выключателями и их ограничение – «Электричество», 1998, №4.
 6. Безуткин В.В., Евдокунин Г.А., Халилов Ф.Х. Ограничение перенапряжений, возникающих при коммутации индуктивных цепей вакуумными выключателями - «Электричество», 1994, №2
 7. Кузьмичева К.И., Подъячев В.Н., Шлейфман И.Л. Ограничение перенапряжений при отключении вакуумными выключателями пусковых токов электродвигателей с помощью ОПН – «Электрические станции», 1996, №4.
 8. Устройство для синхронизированного отключения ВВ/Зилес Л.Д. и другие.
- Заявка 93-04 1096 от 20.08.93 на полезную модель с решением о выдаче от 26.11.93.
9. В. П. Дьяконов «MATLAB 6.5 SPL/7 + Simulink 5/6. Основы применения.» Серия «Библиотека профессионала», Москва: СОЛОН - Пресс, 2005. 800 С.:

УДК 621.3.04

АНАЛІЗ ВПЛИВУ МАГНІТНОЇ ПРОНИКНОСТІ ВТНП КОТУШКИ НА МАГНІТНЕ ПОЛЕ

Є.В. Гончаров

Молодший науковий співробітник
Кафедра загальної електротехніки
Національний технічний університет "Харківський
політехнічний інститут"
вул. Фрунзе, 21, м. Харків, Україна, 61002
Контактний тел.: 8 (057) 707-64-27

ся від низькотемпературних тим, що надпровідний стан досягається при охолодженні до 77 К (низькотемпературні – до 4 К). У табл. 1 наведені деякі надпровідникові сполуки з відповідними критичними температурами. Використання ВТНП має ряд пере-

ваг над низькотемпературними надпровідниками. Тому в останній час інтенсивно проводяться розробки по впровадженню напівпромислових прототипів електротехнічного устаткування з використанням ВТНП, у тому числі і обмежувач струму короткого замикання [1].

Основні конструктивні ВТНП елементи, які використовуються у електроенергетичних приладах, є обмотки, екрани (кільця або циліндри) та струмопровідні частини (кабелі, проводи та ін.).

Для проведення електромагнітного розрахунку треба врахувати, що для ВТНП матеріалу у надпровідному стані магнітна проникність $\mu_{\text{НП}} = 0$ і активний опір $R_{\text{НП}} = 0$, тобто матеріал є діаманетиком та проводить струм без втрат при відповідній температурі близькій 77 К.

Таблиця 1

Параметри високотемпературних та низькотемпературних надпровідників

Сполука	Критична температура
$\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.6}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Sb}_{0.1}\text{Cu}_3\text{O}_y$	115 К (товста плівка на підкладці MgO)
$\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$	110 К
$\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_9$	110 К
$\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.8}\text{Y}_{0.2}\text{Cu}_2\text{O}_8$	95-96К
$\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_8$	91-92К
Nb_3Ge	23.2 К
Nb_3Si	19 К
Nb_3Sn	18.1 К
Nb_3Al	18 К
V_3Si	17.1 К
Ta_3Pb	17 К
V_3Ga	16.8 К
Nb_3Ga	14.5 К
V_3In	13.9 К

Для розрахунку магнітного поля був обраний електромагніт, що містить розімкнений магнітопровід з надпровідниковою котушкою, геометрія якого зображена на рис. 1.

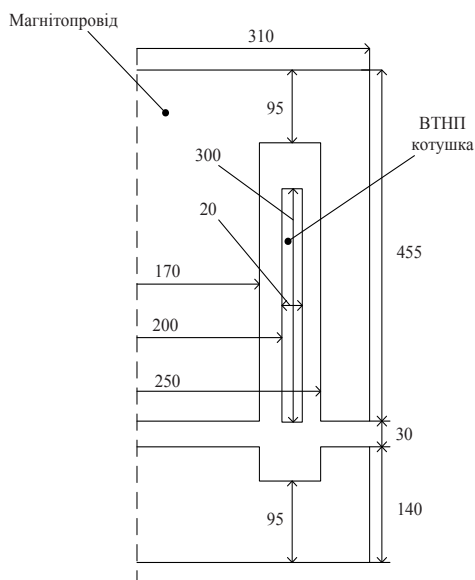


Рис. 1. Поперечний переріз електромагніта

Наведена конструкція практично відповідає броньовому електромагніту.

У даному випадку розглядається вісисиметричне тіло обертання, тому зображена тільки частина перерізу.

У якості вихідних даних для розрахунку прийняті наступні величини:

Кількість витків котушки $w = 129$;

Струм у котушці $I = 150$ А;

Активним опором котушки нехтуємо

$R_{\text{НП}} = 0$ Ом;

Відносну магнітну провідність котушки приймаємо в межах $\mu_{\text{р, НП}} = 1...0$;

Повітряний проміжок електромагніту $\delta = 30$ мм.

Розрахунок було проведено з використанням програми FEMM [2].

У якості матеріалу магнітопроводу використана ст. 1511, крива намагнічування якої зображена на рис. 2.

За кривою намагнічування та геометрію магнітопроводу у математичному пакеті FEMM відтворена модель досліджуваного об'єкту для подальшого її розрахунку та аналізу. Розрахунок магнітного поля моделі проводиться через розв'язання рівнянь Максвелла:

$$\text{rot } \mathbf{H} = \mathbf{J},$$

$$\text{div } \mathbf{B} = 0,$$

$$\mathbf{B} = \mu \mathbf{H},$$

методом кінцевих елементів [3].

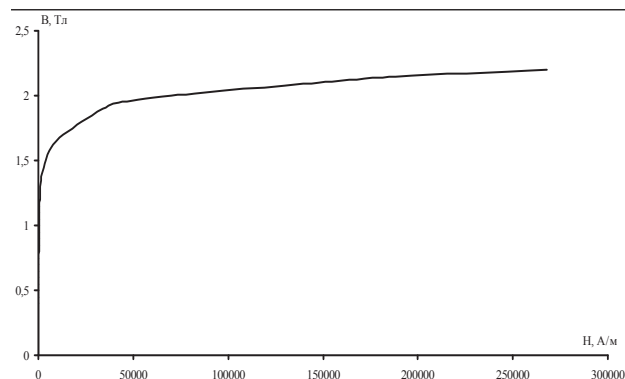


Рис. 2. Крива намагнічування для ст. 1511

Програма FEMM 4.0 проводить розрахунок поля, задовольняючи рівнянням через векторний потенціал: $\mathbf{B} = \text{rot } \mathbf{A}$.

Розрахунок моделі зроблено для двовимірного вісисиметричного простору.

Відповідно до розрахунку було отримано розподіл магнітного поля, зображений на рис. 3, де силовими лініями зображені лінії векторного магнітного потенціалу.

Відтінками кольору визначена у відповідності з наведеною праворуч шкалою величина модуля індукції магнітного поля.

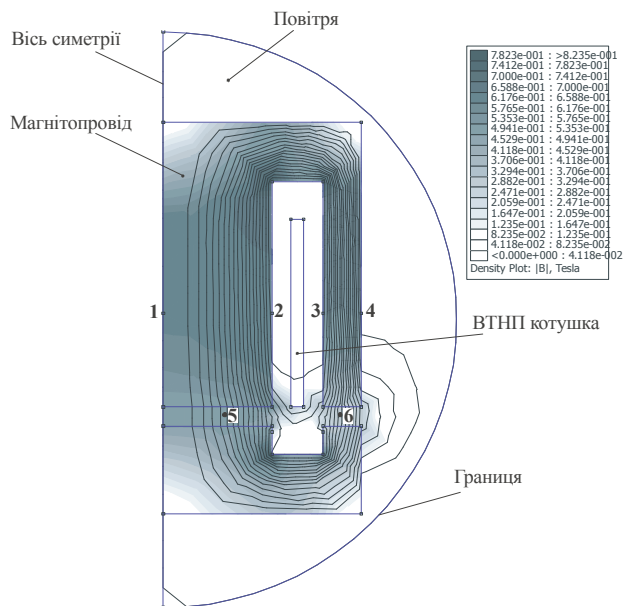


Рис. 3. Розподілення магнітного поля

Вздовж вертикальної вісі симетрії та границі двомірного простору виконується умова Діріхле $A = 0$.

Отримані результати розрахунку магнітного поля зведені у табл. 2 для певних точок у просторі зазначених на рис. 3.

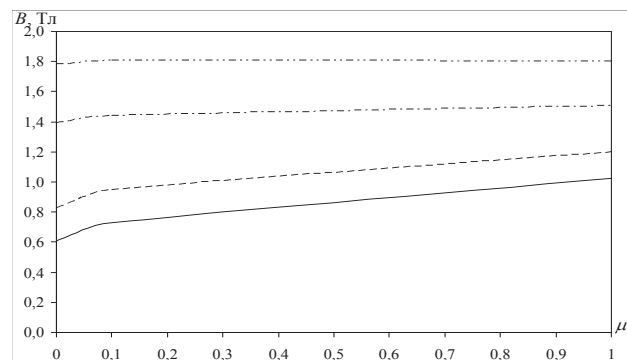
Розрахунок проведений для різних значень магнітної проникності ВТНП котушки та змінним повітряним проміжком між ярмом та якорем магнітопроводу. Справа в тому, що ВТНП котушка у даному випадку не представляє собою монолітний об'єм, а отже її розподілена магнітна проникність відрізняється від нуля.

Як відомо, магнітний опір визначається за формулою:

$$R_m = \frac{l}{S \cdot \mu},$$

де μ – абсолютна магнітна проникність $\mu = \mu_0 \mu_r$; μ_0 – магнітна стала; μ_r – відносна магнітна проникність; S – площа перерізу магнітного кола; l – довжина магнітного кола.

Отже, за отриманими результатами розрахунку магнітного поля побудовані криві залежності індукції у осерді (т. 1 рис. 3) електромагніта від розподіленої магнітної проникності ВТНП котушки (рис. 4).



- повітряний проміжок 30 мм;
- - - повітряний проміжок 20 мм;
- ... повітряний проміжок 10 мм;
- · - - нульовий повітряний проміжок;

Рис. 4. Графіки $B(\mu_r)$

Можна побачити з рис. 3 та з кривих наведених на рис. 4, що магнітна проникність котушки впливає на розподіл магнітного поля електромагніта. З збільшенням розподіленої відносної магнітної проникності ВТНП котушки відповідно збільшується індукція у осерді. Найменший вплив μ_r на індукцію буде при нульовому повітряному зазорі у осерді, коли, відповідно, вплив μ_r на магнітне поле можна не розглядати.

Таким чином, можна зробити висновок, що необхідно розрахувати магнітний опір ВТНП котушки, для проведення подальшого математичного моделювання магнітних полів.

Таблиця 2

Розподіл магнітної індукції у відповідних точках геометричної моделі електромагніта, при різних значеннях відносної магнітної проникності котушки і повітряного проміжку магнітопроводу

Відносна магнітна проникність, μ_r	δ , мм	B (модуль магнітної індукції), Тл					
		т. 1	т. 2	т. 3	т. 4	т. 5	т. 6
		$r=0, z=320$	$r=170, z=320$	$r=250, z=320$	$r=310, z=320$	$r=85, z=155$ (160;165)	$r=280, z=155$ (160;165)
$1 \cdot 10^{-11}$	30	0,606132	0,614364	0,507582	0,508812	0,497992	0,308064
	20	0,827327	0,833809	0,695136	0,696156	0,720619	0,480919
	10	1,39335	1,39364	1,17656	1,17704	1,27275	0,913044
	0	1,78137	1,78136	1,5184	1,51838	1,75454	1,51733
0,02	30	0,637234	0,646382	0,537558	0,538259	0,49773	0,307951
	20	0,856074	0,866455	0,723607	0,724282	0,719816	0,480425
	10	1,40574	1,4066	1,19023	1,19064	1,2603	0,904122
	0	1,78159	1,78193	1,51917	1,51915	1,75214	1,51511
0,1	30	0,728501	0,750154	0,630271	0,628179	0,497573	0,307361
	20	0,945517	0,966601	0,0385556	0,810998	0,717031	0,476478
	10	1,44145	1,44391	1,22908	1,22949	1,22324	0,877564
	0	1,80526	1,80704	1,44312	1,44295	1,76675	1,44005
1	30	1,02237	1,03235	0,895972	0,891545	0,489427	0,303483
	20	1,1977	1,22916	1,04518	1,04357	0,694117	0,46378
	10	1,5075	1,509	1,30093	1,30216	1,10741	0,794521
	0	1,80297	1,80756	1,54453	1,54445	1,74298	1,506

Література

1. Данько В.Г., Гончаров Є.В., Лисенко Л.І., Марков В.С., Кирпильова Е.Т. Тенденції розвитку і використання високотемпературних надпровідникових струмообмежувачів // Вісник НТУ "ХПІ". Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Прилади та методи неруйнівного контролю. – Харків: НТУ "ХПІ", 2006. – № 38. – С. 35-44.
2. Буль О.Б. Методы расчета магнитных систем электрических аппаратов: Магнитные цепи, поля и программа FEMM: Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. – М.: Издательский центр „Академия”, 2005.–336 с.
3. Гончаров Є.В., Кирпильова Е.Т., Михайлов О.О. Дослідження магнітної системи для розробки математичної моделі методом кінцевих елементів // Вісник НТУ "ХПІ". Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. Теорія і практика – Харків: НТУ "ХПІ". – 2008 – № 25.– С.14–19.

УДК 621.316.99

Розглянуті питання, пов'язані з можливістю відновлення нормованих параметрів заземляючих пристроїв на підстанціях, що діють. Розроблені і описані в статті конструкції заземляючих пристроїв можуть бути використані при модернізації складних заземлітелей підстанцій і дозволяють отримувати як технічний, так і економічний ефект

Рассмотрены вопросы, связанные с возможностью восстановления нормируемых параметров заземляющих устройств на действующих подстанциях. Разработанные и описанные в статье конструкции заземляющих устройств могут быть использованы при модернизации сложных заземлителей подстанций и позволяют получать как технический, так и экономический эффект

Questions, related to possibility of renewal of the rationed parameters of earthings devices on operating substations, are considered. The constructions of earthings devices developed and described in the article can be used for modernization of difficult zazemliteley substations and allow to get both technical and economic effect

DIE ERARBEITUNG DES NEUEN HERANGEHENS NACH DER VERSORGUNG DER NORMIERTEN ARAMETER DIE ERDUNGSANLAGEN AUF DEN EXISTIERENDEN UNTERSTATIONEN (UMSPANNUNG- WERKEN)

I.V. Nizhevskyi
АО "СКБ "Электрощит"

ул. Примакова, 46, г. Харьков, Украина, 61002
Контактный тел.: 8 (057) 783-97-70, доб. 2-14

V.I. Nizhevskyi

Кандидат технических наук, доцент
НТУ "Харьковский политехнический институт"
ул. Фрунзе, 21, г. Харьков, Украина, 61002
Контактный тел.: 8 (057) 707-69-77

Der Abgang der Parameter der Erdungsanlagen für die zulässige Grenzen (normiert) der Bedeutungen [1] fordert die schnellste Lösung der Aufgabe der Wiederherstellung der normierten Parameter [2] der existierenden Erdungsanlage.

Nach der Meinung des Autors der Arbeit, sind die übernommenen Maßnahmen für die Lösung der entstandenen Aufgabe genügend beschränkt, breit und fordern die wesentliche Vereinfachung und die Nacharbeit.